

H011 21/331

(3)

Anmeldung

⑤

Int. Cl.:

H 011.7/44

1

38

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



⑥

Deutsche Kl.: 21 g, 11/02

6 1 1

1HP 135

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

## Auslegeschrift 1 764 313

Aktenzeichen: P 17 64 313.9-33

Anmeldetag: 15. Mai 1968

Offenlegungstag: —

Auslegungstag: 25. Mai 1972

Ausstellungspriorität: —

⑲

Unionspriorität

⑳

Datum:

18. Mai 1967

㉑

Land:

V. St. v. Amerika

㉒

Aktenzeichen:

639478

㉓

Bezeichnung:

Verfahren zum Herstellen von Hochfrequenztransistoren mit einer zwei Bereiche unterschiedlicher Dotierung aufweisenden Basiszone

㉔

Zusatz zu:

—

㉕

Ausscheidung aus:

—

㉖

Anmelder:

International Business Machines Corp., Armonk, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter gem. § 16 PatG:

Schmandt, H., Dipl.-Phys., Patentassessor, 7030 Böblingen

㉗

Als Erfinder benannt:

Barson, Fred, Wappingers Falls;  
Dhaka, Vir Abhimanyu, Poughkeepsie; N. Y. (V. St. A.)

㉘

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

US-PS 3 309 245

FR-PS 1 458 152

DT 1764313

## Patentansprüche:

1. Verfahren zum Herstellen von Hochfrequenztransistoren mit einer zwei Bereiche unterschiedlicher Dotierung aufweisenden Basiszone, bei dem auf das durch eine Siliziumdioxidschicht mit einem der Basiszone entsprechenden Durchbruch abgedeckte Halbleitersubstrat eine dotierte Siliziumdioxidschicht aufgebracht wird, deren Dotierungsstoff zu einem dem Leitungstyp des Substrats entgegengesetzten Leitungstyp führt, dadurch gekennzeichnet, daß in die dotierte Siliziumdioxidschicht (13) eine Öffnung (14) eingebracht wird, deren Abmessungen dem inneren Bereich (17) der Basiszone entsprechen, daß sodann zur Erzeugung des den inneren Bereich umgebenden äußeren Bereichs (16) der Basiszone in das Substrat (10) Dotierungsstoff aus den darüberliegenden Bereichen (15) der dotierten Siliziumdioxidschicht (13) eindiffundiert wird, daß anschließend zur Herstellung des inneren Bereichs (17) der Basiszone ein den Leitungstyp des äußeren Bereichs (16) erzeugender Dotierungsstoff durch die Öffnung (14) eindiffundiert wird und daß schließlich zur Ausbildung der Emitterzone (18) oberhalb des inneren Basisbereichs (17) ein den entgegengesetzten Leitungstyp erzeugender Dotierungsstoff eindiffundiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere Teilbereich (16) der Basiszone gleichzeitig mit dem inneren Teilbereich (17) der Basiszone und der Emitterzone (18) hergestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Herstellung des inneren Bereichs (17) der Basiszone durch die Öffnung (14) in das Substrat (10) eindiffundierte Dotierungsstoff in einer innerhalb der Öffnung (14) abgelagerten, dünnen Siliziumdioxidschicht aufgebracht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dotierte Siliziumdioxidschicht (13) während der einzelnen Diffusionsschritte zur Erzeugung des äußeren Basisbereichs (16), des inneren Basisbereichs (17) und des Emitters (18) mit einer undotierten Siliziumdioxidschicht abgedeckt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während des Diffusionsschrittes zur Bildung des äußeren Bereichs (16) der Basiszone der innere Bereich (17) der Basiszone durch eine undotierte Siliziumdioxidschicht abgedeckt wird.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Hochfrequenztransistoren mit einer zwei Bereiche unterschiedlicher Dotierung aufweisenden Basiszone, bei dem auf das durch eine Siliziumdioxidschicht mit einem der Basiszone entsprechenden Durchbruch abgedeckte Halbleitersubstrat eine dotierte Siliziumdioxidschicht aufgebracht wird, deren Dotierungsstoff zu einem dem Leitungstyp des Substrats entgegengesetzten Leitungstyp führt.

Bei der Herstellung von planaren Halbleiterbauelementen, z. B. von Transistoren, werden die einzelnen Zonen und Übergänge gewöhnlich mittels einer Folge von Diffusionsschritten erzeugt, durch die nacheinander die Basiszone und die Emitterzone in der Nähe der Oberfläche des als Kollektor dienenden Substrats gebildet werden. Bei diesem Verfahren wird die jeweils gebildete Halbleiterkonfiguration mit einer Abdeckschicht aus Siliziumdioxid überzogen, in die mittels photolithographischer Verfahren Öffnungen eingebracht werden.

Im nächsten Bearbeitungsschritt werden in die auf diese Weise freigelegten Bereiche in einem Erwärmungsprozeß Dotierungsstoff eindiffundiert. Der Dotierungsstoff kann in Gasform zugeführt werden. Es ist aber auch bekannt, auf die freigelegten Bereiche des Halbleitersubstrats eine dotierte Siliziumdioxidschicht aufzubringen, aus welcher in dem darauffolgenden Erwärmungsprozeß der Dotierungsstoff in das darunter befindliche Halbleitermaterial eindiffundiert.

In der Halbleitertechnik ist man nun ständig bemüht, eine höhere Schaltgeschwindigkeit der Bauelemente zu erreichen, z. B. Transistoren herzustellen, die für immer höhere Frequenzen geeignet sind. Bekanntlich ergibt sich die obere Frequenzgrenze von Transistoren durch die zeitliche Verzögerung, die mit dem Leitungsmechanismus der Ladungsträger über die Basiszone des Transistors hinweg, d. h. vom Emitter/Basis- zum Basis/Kollektorübergang zusammenhängt. Da diese zeitliche Verzögerung von der Basisweite abhängt, ist man bestrebt, bei der Herstellung von Transistoren die Basisweite möglichst klein zu machen. Die Entwicklung bewegt sich deshalb in der Richtung, bei gleichzeitiger Vermeidung des Durchschlags der Basiszone, Transistoren herzustellen, deren Basis aus einer flachen, eindiffundierten Zone besteht. Eine derartig flache Basisdiffusion gibt jedoch Anlaß zu einem hohen Widerstand im Randbereich der Basiszone, der den inneren, aktiven Bereich der Basiszone umgibt und der sich zu den Ohmschen Anschlußkontakten für die Basis erstreckt. Der hohe Widerstand des äußeren Basisbereichs ist unerwünscht, da zur Erzielung einer hohen Schaltgeschwindigkeit ein sehr geringer Widerstand des durch den äußeren Basisbereich führenden Leitungswegs von dem aktiven, inneren Basisbereich bis zum Ohmschen Kontakt zu fordern ist.

Man ist deshalb in der Halbleitertechnik dazu übergegangen, den inneren und den äußeren Bereich der Basis in getrennten, voneinander unabhängigen Diffusionsschritten zu erzeugen. Ein derartiges Diffusionsverfahren ist z. B. in der USA.-Patentschrift 3 305 913 beschrieben. Bei diesem Verfahren werden die äußeren Basisbereiche zunächst mittels Diffusion durch Öffnungen innerhalb von Siliziumdioxidmasken hindurch in das Halbleitersubstrat mit einem vorgegebenen Leitfähigkeitstyp eingebracht, wobei die Konzentration und die Diffusionstiefe so gewählt werden, daß man den erwünschten niedrigen Widerstand erhält. Dann wird die gesamte Substratoberfläche wiederum mit einer Siliziumdioxidschicht abgedeckt und mit Hilfe von Photoresistmethoden und Ätzverfahren eine weitere Maske innerhalb dieser Schicht hergestellt, wobei die Öffnung der Maske bezüglich der Oberfläche des Substrats und bezüglich des zuerst eindiffundierten, äußeren Basisbereichs justiert sein müssen. Nunmehr wird der innere Ba-

sishereich durch die Maskenöffnung hindurch eindiffundiert, wobei der gleiche Dotierungsstoff wie beim äußeren Basisbereich, jedoch eine niedrigere Konzentration und eine geringere Tiefe gewählt wird. Schließlich wird der Emitter durch Diffusion durch die gleichen Öffnungen hindurch unter Benutzung eines Dotierungsstoffs des Substratleitfähigkeitstyps erzeugt. Die letztgenannte Diffusion wird innerhalb des inneren aktiven Basisbereichs eingebracht. Hierbei wird die Tiefe der Diffusion so gewählt, daß eine Basis mit sehr schmaler Basisweite gebildet wird.

Dieses Verfahren stellt zwar einen wertvollen Schritt in Richtung der Lösung des Problems der Herstellung von Basiszonen mit Teilbereichen unterschiedlicher Dotierung und mit in weiten Grenzen wählbaren Parametern dar, die praktische Durchführung des Verfahrens wird jedoch durch die zu fordernde Justierung der Masken sehr erschwert. Bei der Herstellung der zweiten Siliziumdioxidmaske zur Diffusion des inneren Basis- bzw. des Emitterbereichs bereitet es große Schwierigkeiten, eine Öffnung in hinreichend präziser Justierung mit dem nichtdiffundierten Flächenbereich innerhalb des diffundierten, äußeren Basisbereichs anzubringen. Bei der Herstellung von mikroelektronischen Transistoren liegt diese Öffnung, durch welche die Diffusion zur Erzeugung des inneren Basisbereichs erfolgt, in der Größenordnung von 2,4  $\mu\text{m}$ . Infolgedessen ergeben bereits geringfügige Abweichungen der Lage der Öffnung Bauelemente, bei denen entweder der innere Basisbereich einen zu geringen Widerstand aufweist oder sich umgekehrt ein untragbar hoher Widerstand im äußeren, zu den Ohmschen Kontakten führenden Basisbereich einstellt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen von Hochfrequenztransistoren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem der äußere und der innere Basisbereich in getrennten, voneinander unabhängigen Diffusionsschritten erzeugt werden, wobei auf eine zusätzliche Maskierung zwischen den Bereiche der Basiszone erzeugenden Diffusionsschritten verzichtet werden kann, so daß alle Schwierigkeiten entfallen, die in Verbindung mit der Maskenjustierung auftreten.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß in die dotierte Siliziumdioxidschicht eine Öffnung eingebracht wird, deren Abmessungen dem inneren Bereich der Basiszone entsprechen, daß sodann zur Erzeugung des äußeren den inneren Bereich umgebenden Bereichs der Basiszone in das Substrat Dotierungsstoff aus den darüberliegenden Bereichen der dotierten Siliziumdioxidschicht eindiffundiert wird, daß anschließend zur Herstellung des inneren Bereichs der Basiszone ein den Leitungstyp des äußeren Bereichs erzeugender Dotierungsstoff durch die Öffnung eindiffundiert wird und daß schließlich zur Ausbildung der Emitterzone oberhalb des inneren Basisbereichs ein den entgegengesetzten Leitungstyp erzeugender Dotierungsstoff eindiffundiert wird.

Eine vorteilhafte Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß der äußere Teilbereich der Basiszone gleichzeitig mit dem inneren Teilbereich der Basiszone und der Emitterzone hergestellt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann weiterhin in vorteilhafter Weise so durchgeführt werden, daß

der zur Herstellung des inneren Bereichs der Basiszone durch die Öffnung in das Substrat eindiffundierte Dotierungsstoff in einer innerhalb der Öffnung abgelagerten, dünnen Siliziumdioxidschicht aufgebracht wird. Vorteilhaft ist es ferner, daß die dotierte Siliziumdioxidschicht während der einzelnen Diffusionsschritte zur Erzeugung des äußeren Basisbereichs, des inneren Basisbereichs und des Emitters mit einer undotierten Siliziumdioxidschicht abgedeckt wird. Dadurch wird verhindert, daß die dotierte Siliziumdioxidschicht Anteile des in ihr enthaltenen Dotierungsstoffs an die Umgebung abgibt. Vorteilhaft zu diesem Zweck kann es auch sein, daß während des Diffusionsschrittes zur Bildung des äußeren Bereichs der Basiszone der innere Bereich der Basiszone durch eine undotierte Siliziumdioxidschicht abgedeckt wird.

Die Erfindung wird an Hand eines durch die Zeichnungen erläuterten Ausführungsbeispiels beschrieben. In den Fig. 1 bis 7 sind die einzelnen Verfahrensschritte in schematischen Querschnitten der jeweiligen Konfigurationen dargestellt.

Entsprechend der Darstellung in Fig. 1 wird ein aus dem Siliziumplättchen 10 bestehendes Substrat aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps, z. B. des n-Leitungstyps, mit einer isolierenden Schicht 11 aus Siliziumdioxid bedeckt. Dann wird unter Benutzung von bekannten Photoresist- bzw. Ätzverfahren der Durchbruch 12 in der Siliziumdioxidschicht angebracht, dessen Abmessung derjenigen Fläche entspricht, die von der gesamten Basiszone innerhalb des Substrats in Anspruch genommen wird (Fig. 2).

Als nächstes wird, entsprechend der Darstellung in Fig. 3, über dem Durchbruch 12 eine Siliziumdioxidschicht 13 aufgebracht, die durch Beimengung eines Dotierungsstoffs einen dem Leitungstyp des Plättchens 10 entgegengesetzten Leitungstyp aufweist. Im Fall des n-leitenden Substrats wird die Schicht 13 durch Zugabe von Bor p-leitend gemacht. Die Schicht 13 wird in bekannter Weise bei einer Temperatur von 900°C oder darunter aufgebracht, so daß bei diesem Verfahrensschritt keine wesentliche Diffusion aus der Schicht 13 in das Substrat hinein stattfinden kann. Die dotierte Siliziumdioxidschicht kann auch aus einer die Störsubstanz enthaltenden Lösung in einem anodischen Oxydationsprozeß aufgebracht werden.

Danach wird, entsprechend der Darstellung in Fig. 4, durch einen bekannten Photoresist- bzw. Ätzschritt die Öffnung 14 in die Schicht 13 eingebracht, wobei die Abmessung und die Lage dieser Öffnung den Abmessungen des inneren Teilbereichs der Basis des herzustellenden Transistors anspricht. Die Öffnung 14 liegt etwa zentral innerhalb des Randbereichs 15 der das Substrat bedeckenden, dotierten Schicht 13, deren Abmessungen dem äußeren Bereich der Basiszone des Transistors entsprechen.

Bei diesem Verfahrensschritt, d. h. bevor irgendeine Diffusion zur Ausbildung des äußeren Basisbereichs, des inneren Basisbereichs oder des Emitterbereichs durchgeführt worden ist, existiert bereits die endgültige maskierende Anordnung. In den nachfolgenden Verfahrensschritten besteht daher keine Notwendigkeit, eine weitere Maskierung des Substrats vorzunehmen.

Der äußere Basisbereich 16 mit einer verhältnismäßig hohen Konzentration von p-Leitfähigkeit er-

zeugenden Störstellen (Fig. 5) wird danach durch Erhitzen des Substrats aus etwa 1000°C für eine Zeit von etwa 30 Minuten hergestellt. Dabei diffundiert das Bor aus den Bereichen 15 der dotierten Siliziumdioxyschicht in das Substrat hinein. Der innere Basisbereich 17 (Fig. 6) wird dann in der Weise erzeugt, daß p-Leitung erzeugendes Bor durch die Öffnung 14 mittels irgendeines bekannten Diffusionsverfahrens in das Substrat eindiffundiert wird. Zu diesem Zweck kann z. B. das Kapseldiffusionsverfahren benutzt werden, bei welchem das maskierte Substrat in ein evakuiertes Reaktionsgefäß eingebracht wird, in dem sich auch die mit Bor dotierte Siliziumquelle befindet. Das Reaktionsgefäß wird über eine Zeitdauer von einer Stunde auf eine Temperatur von 1000°C erhitzt. Der so gebildete innere Basisbereich 17 besitzt eine verhältnismäßig geringe Störstellenkonzentration.

Nunmehr wird der Emitter 18 (Fig. 7) mittels einer zweiten Diffusion durch die Öffnung 14 hindurch erzeugt, indem ein n-Leitung erzeugender Dotierungsstoff, beispielsweise Phosphor, in einem bekannten, mit offenem Reaktionsrohr arbeitenden Diffusionsverfahren eindiffundiert wird. Hierzu wird das maskierte Substrat in einen Ofen eingebracht, in welchem eine Phosphorquelle aus Phosphorpentoxid ( $P_2O_5$ ) auf eine Temperatur von 300°C erhitzt wird, während das Substrat selbst über eine Zeitdauer von 12 Minuten auf einer Temperatur von 900°C gehalten wird. Ein Trägergas bringt den Phosphor in Kontakt mit dem Substrat. Auf der Oberfläche des Substrats werden sodann (nicht dargestellte) Ohmsche Anschlußkontakte in bekannter Weise angebracht.

Im vorstehenden stellt die Diffusion zur Herstellung des äußeren Basisbereichs einen eigenen Verfahrensschritt dar, der vor den Diffusionen zur Herstellung des inneren Basisbereichs und der Emitterzone durchgeführt wird. Dieser Verfahrensschritt zur Herstellung des äußeren Basisbereichs durch Diffusion der Störstellen aus der dotierten Maske 13 in das Substrat hinein kann auch gleichzeitig mit den Diffusionsschritten zur Herstellung des inneren Teilbereichs der Basiszone und der Emitterzone durchgeführt werden.

Je nach Art des benutzten Diffusionsverfahrens bei der Herstellung des inneren Basisbereichs, beispielsweise bei einem Diffusionsverfahren mit offenem Reaktionsrohr, besteht die Möglichkeit, daß sich über der Öffnung 14 eine dünne Abdeckung bildet. Diese Schicht kann vor Durchführung der Emitterdiffusion ohne weitere Maskierung leicht entfernt werden, indem das Substrat in eine verdünnte Säure, welche die dickere Abdeckungsschicht 13 im wesentlichen nicht angreift, eingetaucht wird.

In der bisherigen Beschreibung wurden zur Herstellung des inneren Teilbereichs der Basis und des Emitters Dampfdiffusionsverfahren verwendet. Selbstverständlich können auch andere Diffusionsverfahren einschließlich der Festkörperdiffusion benutzt wer-

den. Beispielsweise kann das dotierte Siliziumdioxid zur Herstellung des inneren Basisbereichs oder des Emitters als eine Schicht innerhalb der Öffnung 14 niedergeschlagen werden. Die Konzentration der Störstellen in dem dotierten Siliziumdioxid, die Dicke der dotierten Schicht, die Temperatur und die Zeitdauer der Diffusion werden dabei in bekannter Weise gesteuert, um die gewünschten Eigenschaften des inneren Basisteilbereichs, z. B. die flache Diffusion und die geringe Basisweite, zu erhalten. Wenn der innere Teilbereich der Basis durch Diffusion aus einer Siliziumdioxidabdeckung innerhalb der Öffnung 14 hergestellt wird, so muß diese Abdeckung natürlich vor der Emitterdiffusion wieder entfernt werden. Dies ist leicht möglich, da die verhältnismäßig flache Diffusion des inneren Basisbereichs mit niedriger Störstellenkonzentration lediglich eine verhältnismäßig dünne dotierte Siliziumdioxidabdeckung innerhalb der Öffnung 14 erfordert. Diese dünne Abdeckung kann entfernt werden durch Eintauchen in eine verdünnte Säure, die ausreicht, um die oberhalb der Öffnung 14 befindliche Abdeckung zu entfernen, ohne daß im wesentlichen die Maskierungseigenschaften der Maske 13 beeinträchtigt werden.

Bei der Herstellung des inneren Basisbereichs und der Emitterzone durch ein Kapseldiffusionsverfahren kann die dotierte Siliziumdioxidschicht 13 dazu neigen, Bor an die Umgebung abzugeben. Solche freigesetzten Boranteile können eine unerwünschte Änderung des Störstellengehalts der Umgebung verursachen. In gleicher Weise kann auch während der Diffusion der äußeren Basisbereiche Bor aus der Schicht 13 in die Umgebung freigesetzt werden. Dieser störende Effekt kann durch Aufbringen einer Schutzschicht aus undotiertem Siliziumdioxid über die dotierte Schicht 13 vermieden werden. Diese Schutzschicht wird am besten auf die Schicht 13 während des in Fig. 3 dargestellten Verfahrensschrittes aufgebracht. Die Abdeckung wird bei einer Temperatur unterhalb von 900°C durchgeführt, um jegliche vorzeitige Diffusion von Störstellen aus der Schicht 13 in das Substrat zu vermeiden. Pyrolytisches Niederschlagen oder eine Aufbringung durch Kathodenzerstäubung nach bekannten Methoden sind ebenfalls zur Herstellung derartiger Schutzschichten bei niedrigen Temperaturen geeignet. In diesem Falle werden bei der Herstellung der Öffnung 14 sowohl die Schicht 13 als auch die Schutzschicht durchbrochen.

In den Fällen, in denen die Freisetzung von Bor hauptsächlich während der Diffusion des äußeren Basisbereichs auftritt, kann diesem Effekt durch Aufbringen einer dünnen Schicht aus Siliziumdioxid über der Öffnung 14 unter Anwendung von pyrolytischen Niederschlagsverfahren, Kathodenzerstäubung oder eines anodischen Oxydationsverfahrens bei niedrigeren Temperaturen wirksam begegnet werden. Wie bereits erwähnt, kann eine derartige dünne Schicht leicht vor der Diffusion des inneren Basisbereichs mit Hilfe einer Ätzlösung entfernt werden.

2

FIG. 1

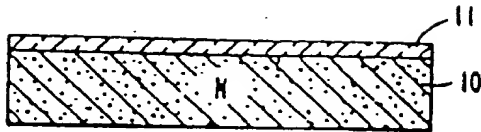


FIG. 2

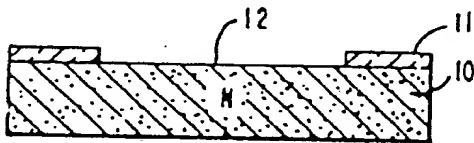


FIG. 3

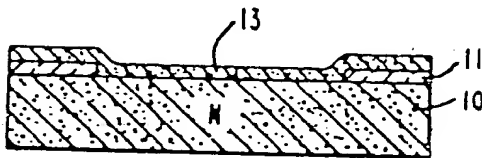


FIG. 4

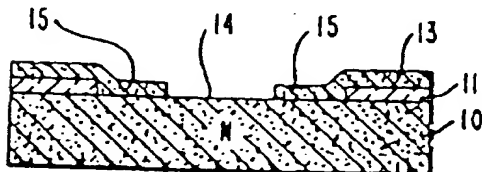


FIG. 5

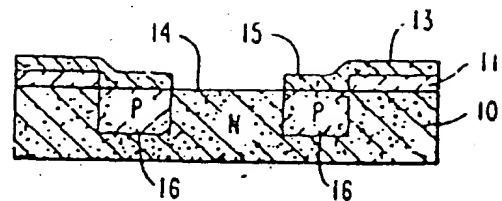


FIG. 6

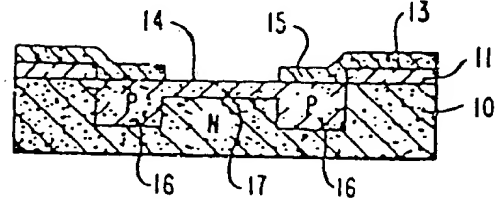


FIG. 7

